

Grandezas Elétricas

A Ciência Elétrica estuda o fenômeno da existência e interação entre cargas elétricas. Tal como a massa, a carga elétrica é uma propriedade fundamental da matéria que se manifesta através de uma interação, designadamente através de uma força. No entanto, a carga elétrica apresenta a particularidade de se manifestar através de uma força que tanto pode ser de atração como de repulsão, ao contrário daquela manifestada pelas massas, que, como se sabe, é apenas de atração.

As principais grandezas da ciência elétrica são a carga, a força, o campo, a energia, a tensão, a potência e a corrente elétrica. Um dos objectivos deste capítulo é explicar a relação existente entre estas grandezas elétricas, dando particular atenção às grandezas tensão e corrente elétrica. Com efeito, a análise de circuitos visa essencialmente a determinação da relação corrente/tensão elétrica em redes de componentes elétricos e eletrônicos.

A lei fundamental da Ciência Elétrica é a Lei de Coulomb. Esta lei estabelece que duas cargas elétricas em presença uma da outra se atraem ou repelem mutuamente, isto é, interagem entre si através de uma força. Como grandeza de tipo vectorial, a força elétrica possui, portanto, uma direcção, um sentido e uma intensidade. A direcção da força coincide com a da reta que une as duas cargas, o sentido é uma função dos sinais respectivos, positivos ou negativos, e a intensidade é uma função do módulo das cargas e da distância que as separa. A interacção à distância entre cargas elétricas conduz ao conceito de campo eléctrico, o qual nos permite encarar a força elétrica como o resultado de uma acção exercida por uma carga ou conjunto de cargas vizinhas. Tal como a força, o campo eléctrico é uma grandeza vectorial com direcção, sentido e intensidade.

O movimento de uma carga num campo eléctrico, em sentido contrário ou concordante com o da força elétrica a que se encontra sujeita, conduz à libertação ou exige o fornecimento de uma energia. O facto de se isolarem fisicamente conjuntos de cargas positivas e negativas equivale a fornecer energia ao sistema, comparável ao armazenamento de energia eléctrica numa bateria. Pelo contrário, o movimento de cargas negativas no sentido de partículas carregadas positivamente corresponde à libertação de energia. Em geral, a presença de cargas eléctricas imersas num campo atribui ao sistema uma capacidade de realizar trabalho, capacidade que é designada por energia potencial eléctrica ou, simplesmente, energia eléctrica.

Uma carga colocada em pontos distintos de um campo eléctrico atribui valores também distintos de energia ao sistema. A diferença de energia por unidade de carga é designada por diferença de potencial, ou tensão eléctrica. Tensão e energia eléctrica são, por conseguinte, duas medidas da mesma capacidade de realizar trabalho. A taxa de transformação de energia eléctrica na unidade de tempo é designada por potência eléctrica.

O fluxo de cargas eléctricas é designado por corrente eléctrica. Em particular, define-se corrente eléctrica como a quantidade de carga que na unidade de tempo atravessa uma dada superfície. Corrente e tensão eléctrica definem as duas variáveis operatórias dos circuitos eléctricos.

Energia Potencial Elétrica

Por definição, energia é a capacidade de realizar trabalho. Realiza-se trabalho quando se desloca uma massa num campo gravitacional, por exemplo, quando se eleva uma massa de 1 kg desde o nível do mar até à altitude de 10 m, mas também quando se desloca uma carga eléctrica entre dois pontos cujas amplitudes dos campos eléctricos diferem. Considere-se, a título de exemplo, o caso da queda de uma massa num campo gravitacional. O trabalho é realizado pelo campo gravitacional e é dado pelo integral ao longo da trajetória do produto interno entre a força e o deslocamento,

$$W = - \int_{R}^{\mathcal{R}} \vec{F} \cdot d\vec{L}$$

J, joule

No caso particular em que a força é constante e a direcção coincidente com o deslocamento, a energia libertada é expressa pelo produto

$$W = m g h$$

em que g , m e h definem, respectivamente, a constante de gravitação terrestre, a massa do corpo e o deslocamento. De acordo com (1.10), o deslocamento de uma massa no sentido da força (a queda) conduz à

libertação de energia por parte do sistema, ou seja, à realização de um trabalho que se define como negativo, ao passo que o deslocamento da mesma no sentido contrário ao da força (a elevação) corresponde ao fornecimento de energia ao sistema e, por definição, à realização de um trabalho positivo.

Considere-se então um átomo de hidrogênio, constituído, como se disse, por um próton e por um electrão. A força eléctrica entre o próton e o electrão é radial e atrativa, sendo a intensidade respectiva uma função do raio da órbita. Em face da existência de uma força de atracção entre as duas cargas, o deslocamento do electrão entre órbitas envolve a realização de um trabalho cujo módulo é

$$W = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} e^2 \left(\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_i} \right)$$

em que r_i e r_f definem, respectivamente, os raios das órbitas inicial e final do electrão. O afastamento do electrão em relação ao núcleo exige o fornecimento de energia ao sistema, ao passo que a aproximação ao núcleo envolve a libertação de energia.

A definição de energia potencial eléctrica aplica-se a qualquer conjunto de cargas eléctricas sujeitas à acção de um campo eléctrico. Se se considerar o caso particular representado na Figura 1.3, em que se admite um campo eléctrico constante ao longo do fio condutor que une os terminais positivo e negativo, verifica-se que:

- (i) o transporte de um electrão do terminal negativo para o terminal positivo envolve a libertação de energia, o que permite dizer que o sistema, à partida, dispunha de energia (eléctrica) armazenada (Figura 1.3.a);
- (ii) o transporte de um electrão do terminal positivo para o terminal negativo exige o fornecimento de energia ao sistema, operação que neste caso corresponde ao armazenamento de energia potencial (Figura 1.3.b).

Em qualquer destes casos, o trabalho é sempre dado pelo integral da força eléctrica ao longo da trajetória das cargas eléctricas. Por outro lado, a energia eléctrica em jogo é proporcional à quantidade de cargas transportadas, ou seja, o transporte de n cargas entre os dois terminais envolve uma energia n -vezes superior àquela envolvida no transporte de uma única carga eléctrica.

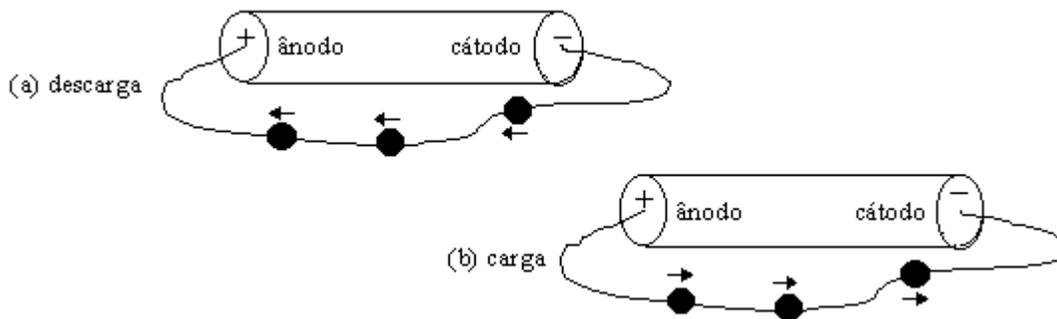


Figura 1.3 Descarga (a) e carga (b) de uma bateria

Um reservatório de cargas eléctricas positivas e negativas fisicamente separadas constitui a fonte de energia eléctrica vulgarmente designada por bateria. O fornecimento de energia por parte da bateria corresponde ao deslocamento das cargas eléctricas negativas do terminal negativo para o terminal positivo, ao passo que a regeneração corresponde à sua separação física.

Tensão Eléctrica

A tensão é uma medida da energia envolvida no transporte de uma carga elementar entre dois pontos de um campo eléctrico. Existe tensão eléctrica entre dois pontos de um campo sempre que o transporte de carga

entre esses mesmos dois pontos envolve libertação ou absorção de energia elétrica por parte do sistema. Retomando o exemplo da Figura 1.3.a, verifica-se que o transporte de uma carga elementar negativa, $Q=-e$, corresponde à libertação de uma energia $W=eV$ joule, que o transporte de duas, três ..N cargas envolve a libertação das energias 2 eV, 3 eV ..N eV joule. A quantidade V, que coincide com o cociente entre a energia libertada e a quantidade de carga transportada

$$V = \frac{W}{Q}$$

V, volt

designa-se por tensão elétrica. É a normalização relativamente à quantidade de carga transportada que torna a tensão elétrica numa das duas variáveis operatórias dos circuitos elétricos. Por outro lado, tendo em atenção as relações entre trabalho, força e campo elétrico, verifica-se que

$$V = \frac{W}{Q} = \frac{-\int_{P_i}^{P_f} \vec{F} \cdot d\vec{L}}{Q} = -\int_{P_i}^{P_f} \vec{E} \cdot d\vec{L}$$

isto é, que a tensão elétrica mais não é do que o integral do campo elétrico experimentado pelas cargas elétricas no seu transporte entre as posições inicial e final. O transporte de um electrão entre os terminais negativo e positivo de uma bateria é efetuado no sentido da força, portanto no sentido contrário ao do campo elétrico, envolve a libertação de energia (realização de um trabalho negativo) e indica a presença de uma tensão elétrica positiva, no sentido do terminal positivo para o terminal negativo.

Corrente Elétrica

Define-se corrente média como a quantidade de carga elétrica que na unidade de tempo atravessa uma dada superfície

$$I = \frac{Q}{\Delta T}$$

A, ampère

e valor instantâneo da mesma à derivada

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

A relação complementar de

$$q(t) = \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$

permite contabilizar a quantidade de carga que ao longo do tempo atravessou, num dado sentido e desde um instante de tempo infinitamente longínquo, a superfície em questão.

Por convenção, o sentido positivo da corrente elétrica coincide com o do movimento das cargas positivas. Considerando o exemplo representado na Figura 1.3.a, constata-se que o movimento dos electrões do terminal negativo para o positivo de uma bateria corresponde, por definição, a uma corrente elétrica no sentido do terminal positivo para o negativo.

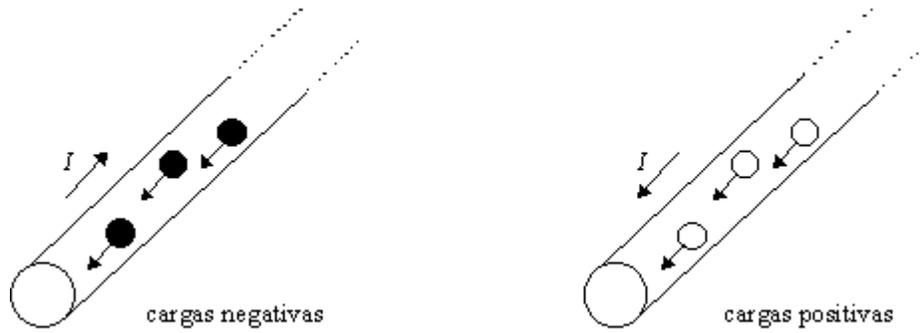


Figura 1.4 Sentido positivo da corrente elétrica

Sinais Elétricos

Na figura 1.6 apresentam-se alguns dos sinais elétricos mais comuns na análise de circuitos. São eles, a saber:

- (i) constantes no tempo (Figura 1.6.a), designados pela sigla d.c. (direct-current);
- (ii) sinusoidais (Figura 1.6.b), designados por a.c.(alternate-current);
- (iii) retangulares (Figura 1.6.c);
- (iv) exponenciais decrescentes ou crescentes (Figura 1.6.d);
- (v) escalões (Figura 1.6.e);
- (vi) triangulares (Figura 1.6.f).

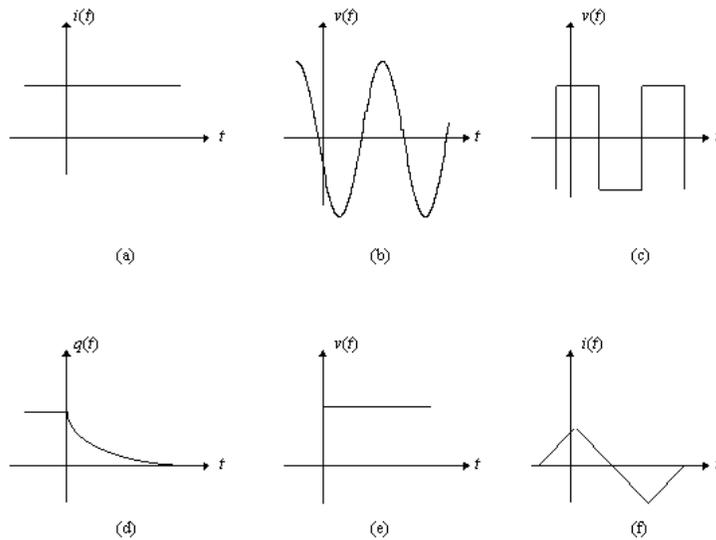


Figura 1.6 Sinais elétricos

Resistência Elétrica

A resistência é uma medida da oposição que a matéria oferece à passagem de corrente elétrica. Os materiais são designados por condutores, semicondutores ou isoladores conforme a oposição que oferecem seja reduzida, média e elevada. A Lei de Ohm

$$v = R i(3.1)$$

estabelece a relação existente entre a corrente e a tensão elétrica aos terminais de uma resistência. O parâmetro R , designado resistência elétrica, é expresso em ohm (note-se que na língua inglesa se distinguem parâmetro resistance do elemento resistor). A resistência elétrica dos materiais pode ser comparada ao atrito existente nos sistemas mecânicos. Por exemplo, e ao contrário do vácuo, a aplicação de um campo elétrico constante (força constante) sobre uma carga elétrica conduz a uma velocidade constante nos materiais, situação à qual corresponde uma troca de energia potencial elétrica por calor. Esta conversão é designada por efeito de Joule, cuja expressão da potência dissipada é

$$p = Ri^2(3.2).$$

A resistência é um dos elementos mais utilizados nos circuitos. Existem resistências fixas, variáveis e ajustáveis, resistências integradas e resistências discretas, resistências cuja função é a conversão de grandezas não elétricas em grandezas elétricas, etc. Relativamente a estas últimas, existem resistências sensíveis à temperatura, como sejam as termo-resistências e os termístores, resistências sensíveis ao fluxo luminoso, designadas por foto-resistências, magneto-resistências, piezo-resistências, químico-resistências, etc.

Instrumentos de Medida

Nas aulas de laboratório das disciplinas de eletrônica os alunos vão tomar contato com dois tipos de instrumentos de medida de grandezas elétricas: de grandezas constantes no tempo, como é o caso do voltímetro, do amperímetro, do wattímetro e do multímetro; e de medição de grandezas variáveis no tempo, isto é, de sinais elétricos, como é o caso do osciloscópio.

Voltímetro

O voltímetro é um instrumento de medida da amplitude da tensão elétrica. É dotado de duas pontas de prova de acesso ao exterior (Figura 1.9.a), através das quais se pode medir a tensão aos terminais de uma fonte de tensão constante, entre dois quaisquer pontos de um circuito elétrico, ou ainda entre um qualquer ponto e a referência. A ligação de um voltímetro ao circuito é de tipo paralelo. O mesmo é dizer que durante a medição o instrumento constitui um caminho paralelo ao elemento ou circuito a diagnosticar. No entanto, um voltímetro ideal procede à medição da tensão sem absorver qualquer corrente elétrica (apresenta, por isso, uma resistência elétrica de entrada infinita), característica que garante a não interferência do aparelho no funcionamento do circuito.

No passado, todos os voltímetros eram de tipo analógico. Nos aparelhos deste tipo, a amplitude da tensão é indicada através da posição de um ponteiro sobre uma escala graduada, cuja selecção condiz com a amplitude prevista para a tensão. Atualmente existe uma grande variedade de voltímetros analógicos e digitais, sendo em geral uma das múltiplas funções disponibilizadas pelo multímetro.

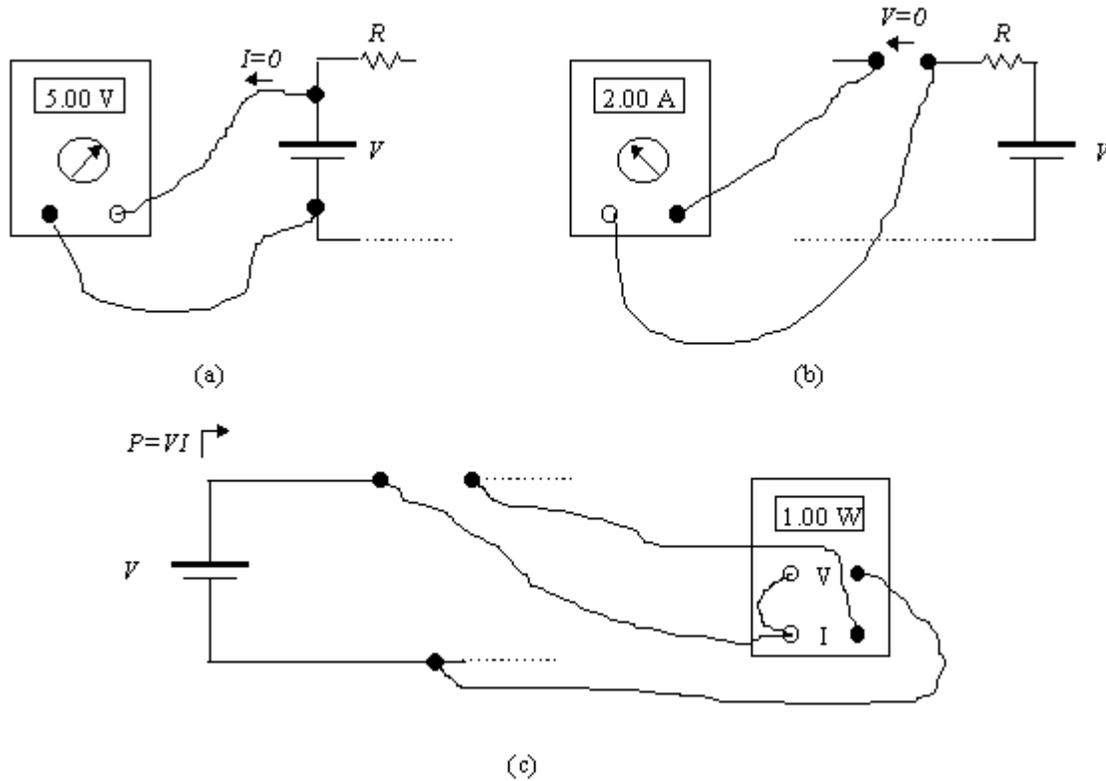


Figura 1.9 Voltímetro (a), amperímetro (b) e wattímetro (c)

Amperímetro

O amperímetro é um instrumento de medida da amplitude da corrente elétrica. Como se indica na Figura 1.9.b, e ao contrário do processo de medição da tensão, a medição de uma corrente elétrica obriga a que o instrumento seja percorrido pela grandeza a diagnosticar. Um amperímetro ideal caracteriza-se pela capacidade de medir a corrente sem incorrer em qualquer queda de tensão entre os seus dois terminais.

Wattímetro

O wattímetro é um instrumento que permite medir a potência elétrica fornecida ou dissipada por um elemento. O wattímetro implementa o produto das grandezas tensão e corrente elétrica no elemento, razão pela qual a sua ligação ao circuito é feita simultaneamente em série e em paralelo (Figura 1.9.c). Assim, dois dos terminais são ligados em paralelo com o elemento, efetuando a medição da tensão, e os dois restantes são interpostos no caminho da corrente. Tal como o voltmímetro e o amperímetro, o wattímetro ideal mede a tensão sem desvio de qualquer fluxo de corrente, e mede a corrente sem introduzir qualquer queda de tensão aos seus terminais.

Multímetro

O multímetro é um instrumento de medida multifuncional que congrega, entre outras, as funções de voltmímetro e de amperímetro. Atualmente existe no mercado uma enorme variedade de multímetros: de tipo analógico ou digital; de pequenas (bolso) ou grandes dimensões; de baixa ou elevada precisão; de baixo ou elevado preço.

Osciloscópio

O osciloscópio é um instrumento de medida que permite visualizar em tempo real a amplitude de uma tensão elétrica variável no tempo. O osciloscópio é de todos os instrumentos o de maior utilidade e complexidade, designadamente devido à necessidade de associar à medição a dimensão do tempo (Figura 1.11). Os osciloscópios atualmente existentes no mercado dispõem de diversos canais de leitura simultânea, em geral dois ou quatro, podendo ser de tipo analógico ou digital. Os osciloscópios digitais são os de maior funcionalidade, permitindo designadamente somar e subtrair sinais entre canais, calcular valores médios, máximos e mínimos, determinar períodos e frequências de oscilação dos sinais medidos, suspender, memorizar e recuperar sinais, imprimir ou transferir para um computador o conteúdo do visor, etc. Os osciloscópios são dotados de uma ponta de prova por canal, cujos dois terminais devem ser ligados em paralelo com o elemento cuja tensão aos terminais se pretende medir.

Lei de Ohm

O fluxo ordenado de cargas elétricas através de um material, ativado pela aplicação de uma diferença de potencial, é limitado pela estrutura interna do mesmo. Antes de derivar a expressão que relaciona resistência elétrica e parâmetros físicos, talvez seja conveniente explorar um pouco mais a analogia existente entre os sistemas mecânicos e os circuitos elétricos.

Considere-se então uma massa em queda sob a ação de um campo gravitacional constante, num primeiro caso num espaço sem atmosfera e num segundo num espaço com atmosfera. Admita-se ainda que inicialmente o corpo se encontra a uma altitude h , isto é, que possui uma energia potencial $E_{P\text{-ini}}=mgh$ e uma energia cinética $E_{C\text{-ini}}=0$. Nestas condições, a força atuante sobre a massa é $F=mg$, a intensidade do campo gravítico é $E=g$ e, já agora, a diferença de potencial gravítico é $V=gh$. A força e o campo são constantes ao longo de toda a trajetória do corpo, sendo o potencial gravítico tanto mais elevado quanto maior for a altitude inicial do corpo. Ao longo da queda, o corpo troca energia potencial por energia cinética. A troca entre energias verifica a relação

$$E_T = E_P + E_C = mg(h - x) + \frac{1}{2}mv^2$$

em que x e v definem a posição e a velocidade entretanto adquiridas pelo corpo. A velocidade do corpo é expressa por

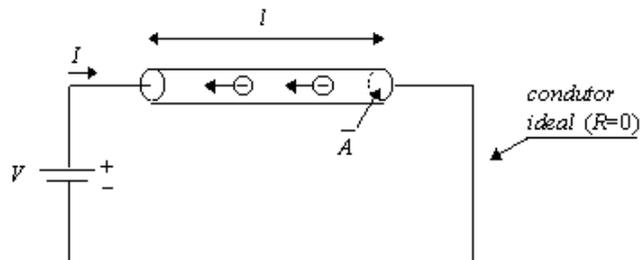
$$v = \sqrt{2gx}$$

m/s, metro por segundo

admitindo naturalmente que se verifica sempre $v \ll c$, em que c define a velocidade da luz. No espaço sem atmosfera o corpo atinge a velocidade máxima para $x=h$, ou seja, quando $E_P=0$.

No caso em que o corpo se move num espaço com atmosfera, portanto com atrito, a troca de energia potencial por energia cinética faz-se com perdas. Outra consequência da força de atrito é o fato de, a partir de uma determinado instante, o corpo se deslocar com uma velocidade constante, designada velocidade limite. A partir desse instante efetua-se uma troca integral entre energia potencial e calor, e o ritmo de troca de energia na unidade de tempo é constante.

Considere-se agora o circuito elétrico representado na Figura 3.1.



Admita-se que a diferença de potencial aos terminais da bateria é V e que a intensidade do campo elétrico ao longo do fio condutor é constante

$$E = \frac{V}{l}$$

Tal como o corpo em queda livre, as cargas negativas perdem energia potencial ao dirigirem-se do terminal negativo para o terminal positivo da bateria (energia convertida em energia cinética e calor). As cargas elétricas atravessam o fio condutor com uma velocidade constante, basicamente fixada no valor médio das velocidades atingidas nos intervalos entre colisões com os átomos.

Admita-se que o material é caracterizado por uma densidade de electrões livres por unidade de volume, n = número de electrões por metro cúbico(3.6) ou que a densidade de carga livre por metro cúbico é $q=ne$ (valor absoluto). Por exemplo, os materiais condutores são caracterizados por possuírem uma elevada densidade de electrões livres, que lhes permite suportar o mecanismo da condução elétrica, ao passo que os materiais isoladores são caracterizados por valores bastante reduzidos deste mesmo parâmetro. Por outro lado, cada par material-tipo de carga caracteriza-se por uma relação velocidade-campo

$$v_{\text{des}} = \mu E$$

em que μ se designa por mobilidade das cargas em questão. Este parâmetro é em geral uma função do tipo de carga, da temperatura e do tipo de material. A quantidade de carga que na unidade de tempo atravessa a superfície perpendicular ao fluxo é (Figura 3.2)

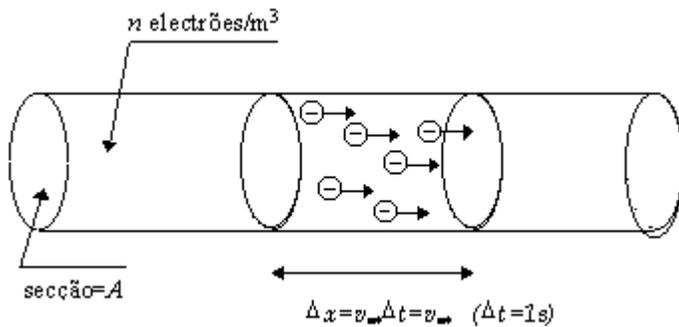


Figura 3.2 Corrente elétrica

a qual, tendo em conta a relação (3.7), permite escrever

$$I = Ane \mu E = Ane \mu \frac{V}{l} = \sigma \frac{A}{l} V$$

em que

$$\sigma = ne \mu$$

S/m, siemens por metro

se designa condutividade elétrica do material, ou ainda

$$I = GV$$

em que

$$G = \sigma \frac{A}{l}$$

S, siemens

se diz condutância elétrica do condutor. Expressando a tensão em função da corrente, obtém-se

$$V = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{A} I = \rho \frac{l}{A} I$$

e

$$V = RI$$

em que

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{ne\mu}$$

W.m, ohm-metro

se designa por resistividade elétrica do material e

$$R = \frac{1}{G} = \rho \frac{l}{A}$$

W, ohm

por resistência elétrica do condutor. As expressões (3.9), (3.13) e (3.14) são indistintamente designadas por Lei de Ohm.

De acordo com a expressão (3.16), a resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional ao seu comprimento, e inversamente proporcional à sua seção, à densidade e à mobilidade das cargas elétricas livres existentes no seu seio. Na Figura 3.3 ilustram-se alguns casos da relação existente entre a resistência elétrica e o comprimento, a seção e a resistividade, enquanto na Tabela 3.1 se apresentam os valores da resistividade elétrica de alguns materiais condutores, semicondutores e isoladores, medidos à temperatura de referência de 20 °C.

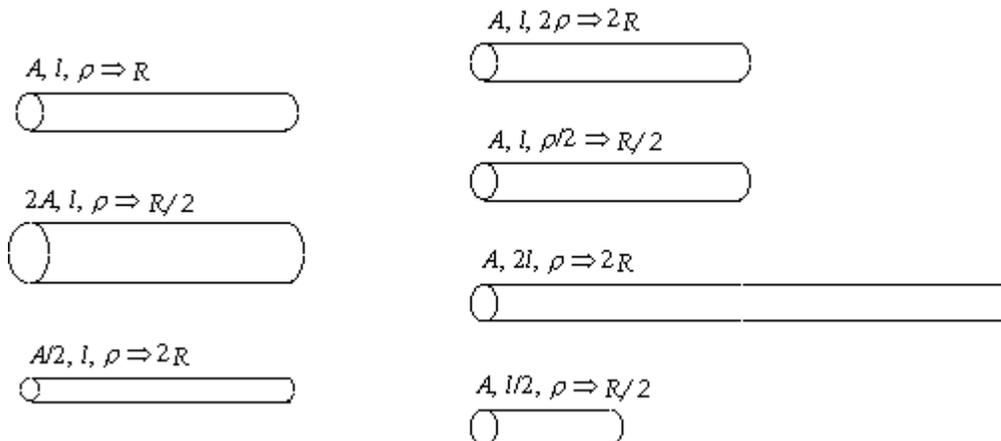


Figura 3.3 Resistência elétrica de fios condutores com comprimentos, seções e resistividades variadas

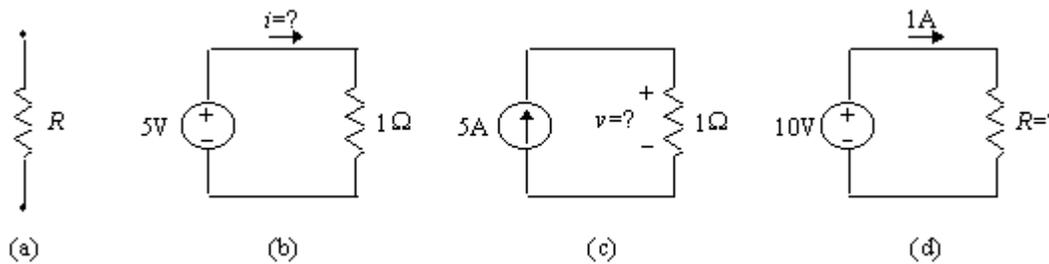
MATERIALRESISTIVIDADE (@ 20°C)prata $1.645 \cdot 10^{-8}$ W.mcobre $1.723 \cdot 10^{-8}$ W.mouro $2.443 \cdot 10^{-8}$ W.malumínio $2.825 \cdot 10^{-8}$ W.mtungstênio $5.485 \cdot 10^{-8}$ W.mníquel $7.811 \cdot 10^{-8}$ W.mferro $1.229 \cdot 10^{-7}$ W.mconstantan $4.899 \cdot 10^{-7}$ W.mnicrómio $9.972 \cdot 10^{-7}$ W.mcarbono $3.5 \cdot 10^{-5}$ W.msilício $2.3 \cdot 10^3$ W.mpolystirene~ 1016 W.m

Tabela 3.1 Resistividade elétrica de diversos materiais condutores, semicondutores e isoladores (a 20 °C)

A Lei de Ohm permite três interpretações distintas:

- (i) para uma determinada tensão aplicada, a corrente é inversamente proporcional à resistência elétrica do elemento;
- (ii) para uma determinada corrente aplicada, a tensão desenvolvida aos terminais do elemento é proporcional à resistência;
- (iii) a resistência de um elemento é dada pelo cociente entre a tensão e a corrente aos seus terminais.

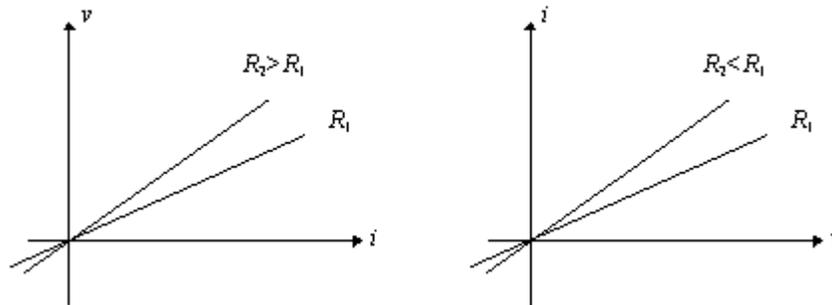
Por exemplo, no caso dos circuitos representados na Figura 3.4 verifica-se que em (b) a corrente na resistência é dada por $I=V/R=5$ A, que em (c) a tensão aos terminais da resistência é $V=RI=5$ V e que em (d) o valor da resistência é $R=V/I=10$ W.



10 W.

Figura 3.4 Símbolo da resistência e Lei de Ohm

A representação gráfica da Lei de Ohm consiste numa recta com ordenada nula na origem e declive coincidente com o parâmetro R (ou G) (Figura 3.5). Apesar de elementar e evidente, é importante associar esta relação linear tensão-corrente à presença de um elemento do tipo resistência, mesmo em dispositivos eletrônicos relativamente complexos como o transistor. Num dos seus modos de funcionamento, por exemplo, o transistor apresenta uma relação tensão-corrente semelhante àquela indicada na Figura 3.5, o que indica, portanto, que nessa mesma zona o transistor é, para todos os efeitos, uma resistência.



RESISTOR.

Código de Identificação de Resistências

A informação relativa ao valor nominal e à tolerância de uma resistência discreta encontra-se regra geral gravada no invólucro sob a forma de números, bandas ou pontos coloridos. No entanto, de todos estes três sistemas alternativos o das bandas coloridas é aquele de maior divulgação entre os fabricantes de componentes, em particular nas resistências de aglomerado de grafite, vulgo de carvão.

O código de cores varia conforme as resistências sejam normais ou de precisão: as resistências normais são codificadas com quatro bandas, ao passo que as de precisão são codificadas com base num código de cinco bandas. O significado de cada banda é indicado nas Tabelas A3.1. Convém notar que a mesma cor pode ter significados diferentes consoante a resistência seja de precisão ou normal.

Nas resistências normais, o significado de cada banda é o seguinte:

- a 1ª e a 2ª bandas indicam os dois primeiros algarismos do valor nominal da resistência, N1 e N2;
- a 3ª banda indica o factor multiplicativo do valor nominal da resistência, que pode ser 10⁻², 10⁻¹, 1, 10, 100, . . . , 10⁹;
- a 4ª banda indica a tolerância do valor nominal da resistência, a qual pode tomar valores típicos de 1%, 2%, 5%, 10% e 20%.

Cor	Abreviatura	Valor	Nº de zeros	Tolerância
Preto	Pr	0	---	---
Marrom	Mr	1	0	1%
Vermelho	Vm	2	00	2%
Laranja	La	3	000	---
Amarelo	Am	4	0000	20%
Verde	Vd	5	00000	0,5%
Azul	Az	6	000000	0,25%
Violeta	Rx ou Vl	7	0000000	0,1%
Cinza	Cz	8	00000000	---
Branco	Br	9	000000000	---
Ouro	---	---	---	5%
Prata	---	---	---	10%
-----	---	---	---	20%

Tabela A3.1 Código de cores das resistências normais.

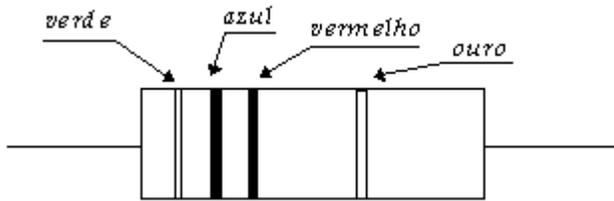
Na Figura A3.1 apresenta-se o exemplo de uma resistência normal cujas bandas apresentam as seguintes cores:

1ª banda: verde (5)

2ª banda: azul (6)

3ª banda: vermelho (2)

4ª banda: dourado (10%)



Estas bandas codificam a informação relativa a uma resistência de 5,6 kW e 5 % de tolerância, portanto com um valor nominal compreendido entre 5,04 kW e 6,16 kW.

Potência Elétrica

A potência é uma medida do ritmo a que se dissipa ou acumula energia elétrica. As expressões da potência média e instantânea são, respectivamente,

$$P = \frac{W}{\Delta T}$$

W, watt

e

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt}$$

podendo também expressar-se a energia em função da potência instantânea.

Por outro lado, tendo em conta as relações entre trabalho, tensão, carga, tempo e corrente elétrica, verifica-se que

$$P = \frac{W}{\Delta T} = \frac{W}{Q} \frac{Q}{\Delta T} = VI$$

ou seja, que a potência mais não é do que o produto da tensão pela corrente elétrica, as duas variáveis operatórias dos circuitos elétricos.

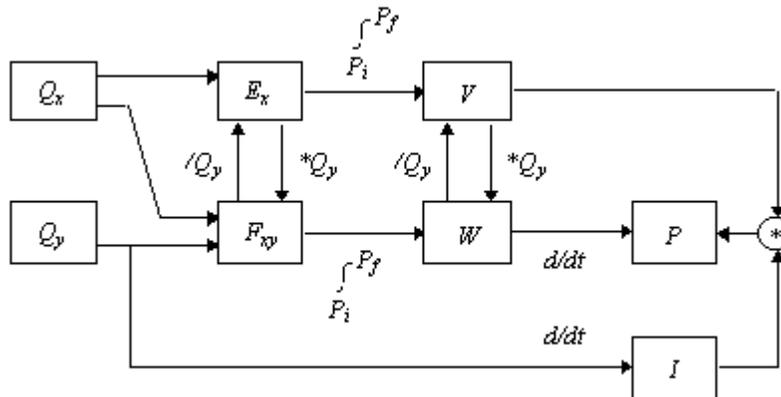


Figura 1.5 Quadro sinóptico das principais grandezas elétricas.

Leis de Kirchhoff

As Leis de Kirchhoff regem a associação de componentes num circuito. Ao contrário da Lei de Ohm, cujo âmbito é a resistência, as Leis de Kirchhoff das tensões e das correntes estabelecem as regras às quais devem respeitar as associações de componentes: a Lei de Kirchhoff das correntes afirma que são idênticos os somatórios das correntes incidentes e divergentes em qualquer nó de um circuito, ao passo que a Lei das tensões afirma que é nulo o somatório das tensões aos terminais dos componentes situados ao longo de um caminho fechado. Uma associação de componentes elétricos constitui um circuito quando verifica simultaneamente as Leis de Kirchhoff e as características tensão-corrente dos componentes, que no caso particular da resistência se designa por Lei de Ohm. A aplicação conjunta das Leis de Kirchhoff e de Ohm permite obter um conjunto de equações cuja resolução conduz aos valores das correntes e das tensões aos terminais dos componentes.

Para além de permitir resolver os circuitos, as três leis referidas possibilitam ainda a derivação de um conjunto de regras simplificativas da análise dos circuitos. Designadamente, as regras de associação em série e em paralelo de resistências, as regras dos divisores de tensão e de corrente, as regras de transformação entre fontes de tensão e de corrente, as regras de associação de fontes de corrente e de tensão, etc.

Lei de Kirchhoff das Tensões

A Lei de Kirchhoff das tensões (LKT) estabelece que é nulo o somatório das quedas e elevações de tensão ao longo de um caminho fechado de um circuito elétrico

$$\sum v = 0$$

Nos circuitos representados na Figura 4.1 existem os seguintes caminhos fechados: o caminho ao longo dos nós (a, b, c, d, e, f, a), em 4.1.a, e os caminhos ao longo dos nós (a, b, c, d, e, a), (b, c, d, e, b) e (a, b, e, a) em 4.1.b.

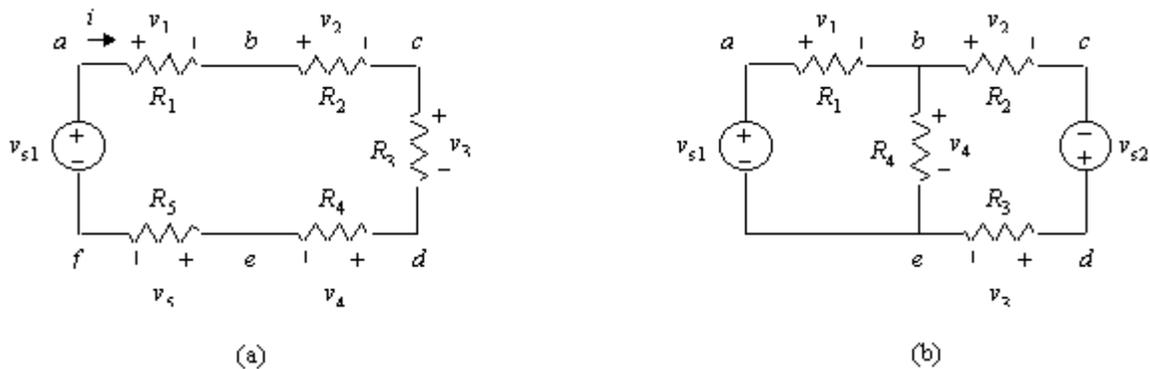


Figura 4.1 Lei de Kirchhoff das tensões

Por exemplo, para o caminho (a, b, c, d, e, a) é válida a igualdade

$$v_1 + v_2 - v_{s2} + v_3 - v_{s1} = 0$$

ou então

$$v_{s2} + v_{s1} = v_1 + v_2 + v_3$$

A relação (4.3) indica que são iguais os somatórios das quedas e das elevações de tensão ao longo de um caminho fechado.

Lei de Kirchhoff das Correntes

A Lei de Kirchhoff das correntes (LKC) estabelece que é nulo o somatório das correntes incidentes em qualquer nó de um circuito elétrico (Figura 4.2.a)

$$\sum i = 0$$

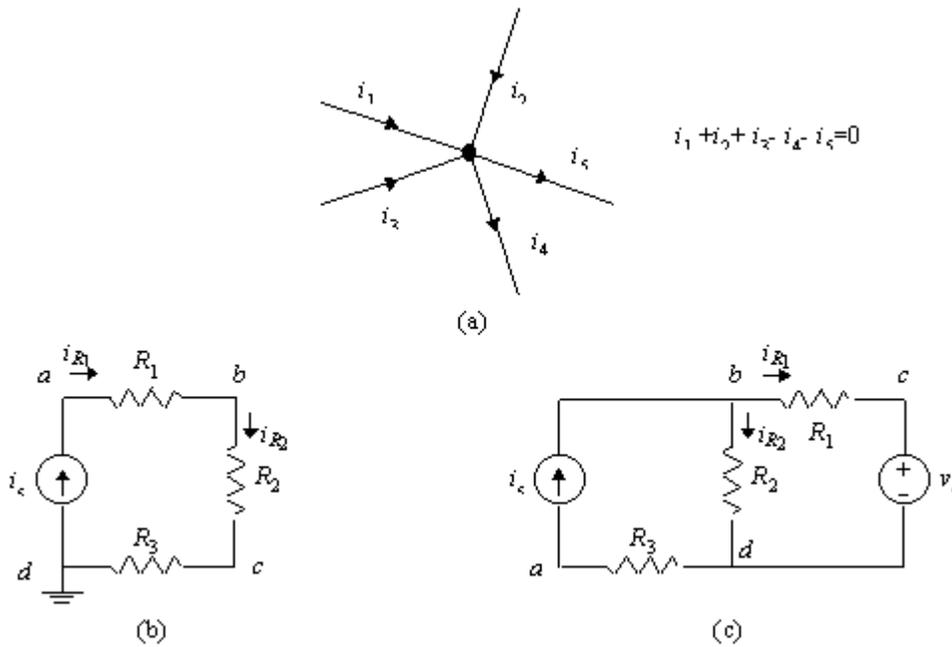


Figura 4.2 Lei de Kirchhoff das correntes

Um nó é um ponto de união entre dois ou mais componentes de um circuito, ou entre um componente e a massa. Nos circuitos representados na Figura 4.2 existem os seguintes nós: nós a, b, c e o nó da massa, em 4.2.b, e os nós a, b, c e d em 4.2.c. A aplicação da LKC ao nó b do circuito em 4.2.c conduz à igualdade

$$i_3 - i_{R1} - i_{R2} = 0$$

ou então

$$i_3 = i_{R1} + i_{R2}$$

A relação (4.6) indica que em qualquer nó de um circuito são idênticos os somatórios das correntes incidentes e divergentes.

Divisor de Tensão

Considere-se o circuito representado na Figura 4.9.a, constituído por uma cadeia de resistências ligadas em série com uma fonte de tensão.

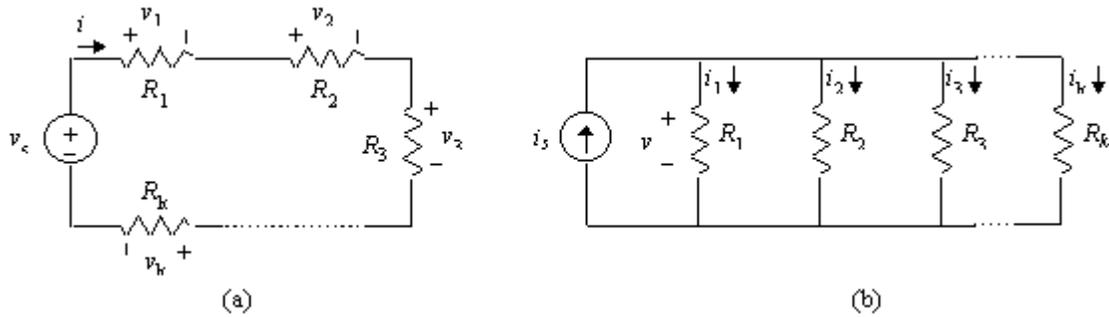


Figura 4.9 Divisores de tensão (a) e de corrente (b)

A queda de tensão aos terminais de cada uma das resistências é dada por

$$v_j = R_j i$$

com $j=1,2, \dots, k$, e em que i define a corrente comum a todas as resistências,

$$i = \frac{v_s}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_k}$$

Substituindo (4.22) em (4.21), obtém-se

$$v_j = \frac{R_j}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_k} v_s$$

para a tensão aos terminais de cada uma das resistências, expressão que é designada por regra do divisor de tensão. No caso de duas resistências apenas, a expressão do divisor de tensão toma a forma particular

$$v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s$$

para a tensão aos terminais da resistência R_1 , e

$$v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_s$$

para a tensão aos terminais da resistência R_2 . Por outro lado, a relação entre as quedas de tensão aos terminais das duas resistências coincide com o cociente entre os valores nominais respectivos,

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Divisor de Corrente

Considere-se o circuito representado na Figura 4.9.b, constituído por um conjunto de resistências ligadas em paralelo com uma fonte de corrente. A corrente em cada uma das resistências é dada por

$$i_j = G_j v$$

com $j=1,2, \dots, k$, e em que v define a tensão comum a todas elas

$$v = \frac{i}{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_k}$$

Substituindo (4.28) em (4.27), obtém-se a expressão da corrente em cada um dos componentes

$$i_j = \frac{G_j}{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_k} i$$

que neste caso se designa por regra do divisor de corrente. No caso de duas resistências, a expressão do divisor de corrente toma a forma particular

$$i_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} i$$

ou ainda

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i$$

Por outro lado, a relação entre as correntes em duas resistências associadas em paralelo é dada por

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{G_1}{G_2}$$

ou ainda

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Teorema de Thévenin

O teorema de Thévenin afirma que, do ponto de vista de um qualquer par de terminais, um circuito linear pode sempre ser substituído por uma fonte de tensão com resistência interna. Como se verifica na Figura 6.4, quando o objetivo da análise de um circuito se resume a identificar a corrente, a tensão ou a potência a jusante de um par de terminais, então o teorema de Thévenin indica que todo o circuito a montante pode ser reduzido a dois elementos apenas, constituindo globalmente uma fonte de tensão com resistência interna. O conjunto de componentes v_{Th} e R_{Th} é designado por equivalente de Thévenin do circuito.

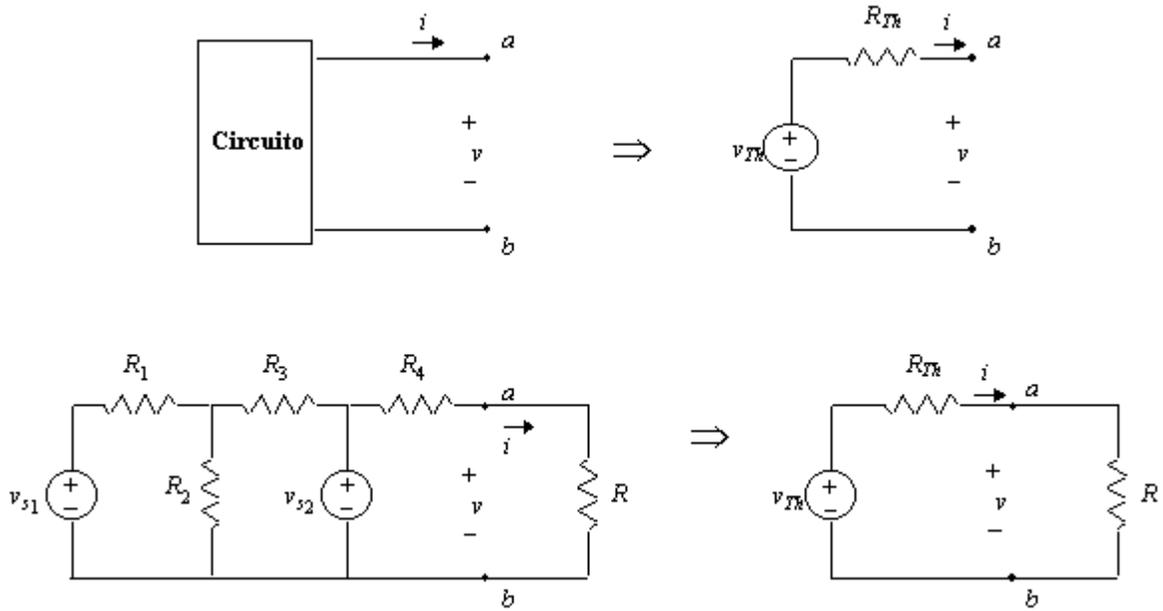


Figura 6.4 Teorema de Thévenin

A metodologia de cálculo do equivalente de Thévenin difere consoante o tipo de fontes em presença no circuito. É comum distinguirem-se circuitos com fontes independentes (Caso 1); circuitos com fontes independentes e dependentes (Caso 2); e circuitos com fontes dependentes (Caso 3).

Caso 1: Equivalente de Thévenin de um Circuito com Fontes Independentes

Considere-se o circuito representado na Figura 6.5.a, relativamente ao qual se pretende determinar o equivalente de Thévenin do subcircuito à esquerda dos terminais a e b indicados.

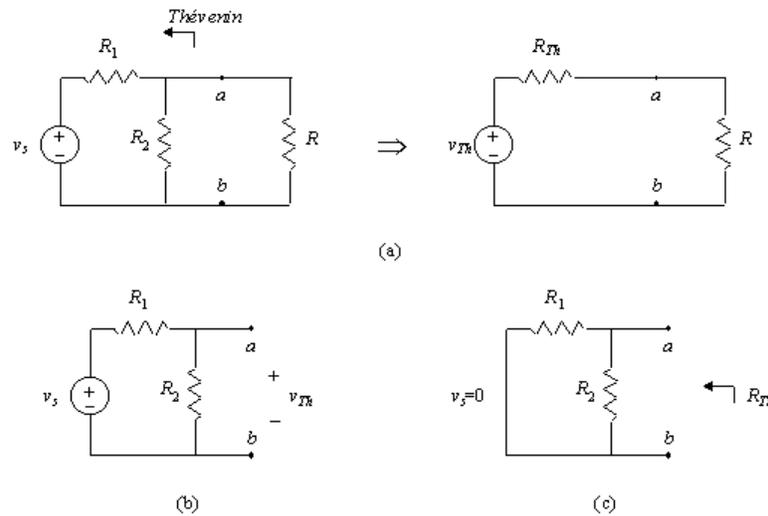


Figura 6.5 Equivalente de Thévenin de um circuito com fontes independentes

O equivalente de Thévenin calcula-se nos seguintes dois passos (para além da identificação dos terminais e do sentido relativamente ao qual se pretende obter o equivalente):

- (i) obtenção da tensão em aberto (Figura 6.5.b),

$$v_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_s$$

- (ii) determinação da resistência equivalente vista dos terminais de saída, quando se anulam todas as fontes independentes no circuito (Figura 6.5.c),

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Caso 2: Equivalente de Thévenin de um Circuito com Fontes Independentes e Dependentes

Considere-se o circuito da Figura 6.6.a, integrando fontes independentes e dependentes de tensão.

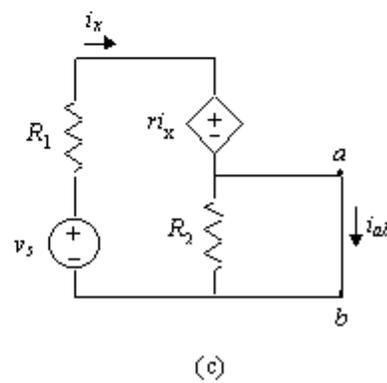
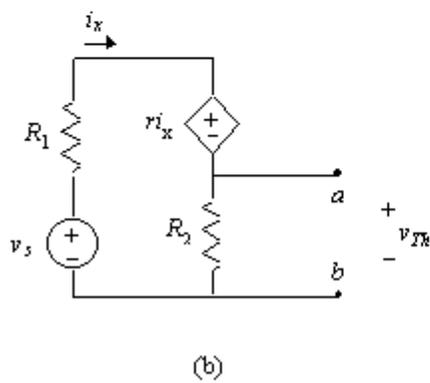
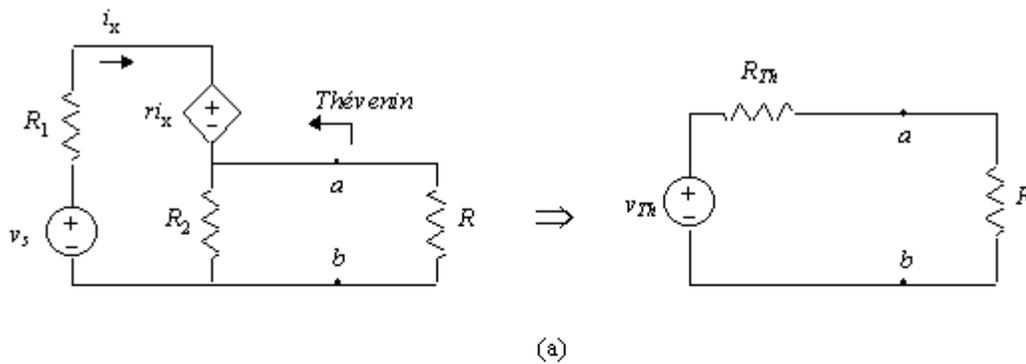


Figura 6.6 Equivalente de Thévenin de um circuito com fontes independentes e dependentes

O cálculo é composto por três passos:

- (i) determinação da tensão em aberto (Figura 6.6.b),
- (ii) determinação da corrente de curto-circuito entre os terminais especificados (Figura 6.6.c);

$$v_{Th} = v_{ab} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + r} v_s$$

- (ii) e cálculo da resistência equivalente de Thévenin através do cociente entre a tensão em aberto e a corrente de curto-circuito,

$$i_{sc} = \frac{v_s}{R_1 + r}$$

$$R_{Th} = \frac{v_{ab}}{i_{sc}} = \frac{R_2 (R_1 + r)}{R_1 + R_2 + r}$$

Caso 3: Equivalente de Thévenin de um Circuito com Fontes Dependentes

O equivalente de Thévenin de um circuito com fontes dependentes caracteriza-se pelo valor nulo da tensão equivalente respectiva. A metodologia de cálculo da resistência equivalente exige que se aplique do exterior uma tensão (ou uma corrente), se meça a corrente absorvida (a tensão gerada aos terminais) e se efectue o cociente entre ambas. No caso da resistência equivalente do circuito representado na Figura 6.7.a:

- (i) aplica-se uma corrente ao circuito, i_x , e mede-se a tensão aos terminais, v_x (Figura 6.7.b). Em alternativa, pode aplicar-se uma tensão aos terminais especificados, v_x , e medir a corrente absorvida pelo circuito (Figura 6.7.c);

- (iii) e determina-se a resistência equivalente de Thévenin através do cociente

$$R_{Th} = \frac{v_x}{i_x} = \frac{1}{G_2 + g}$$

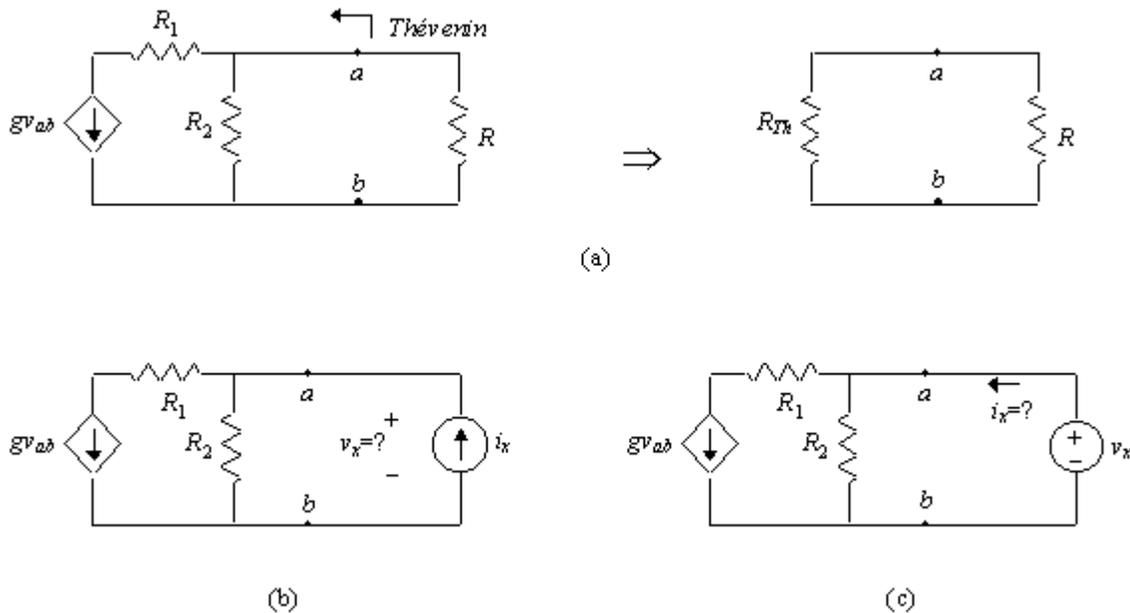
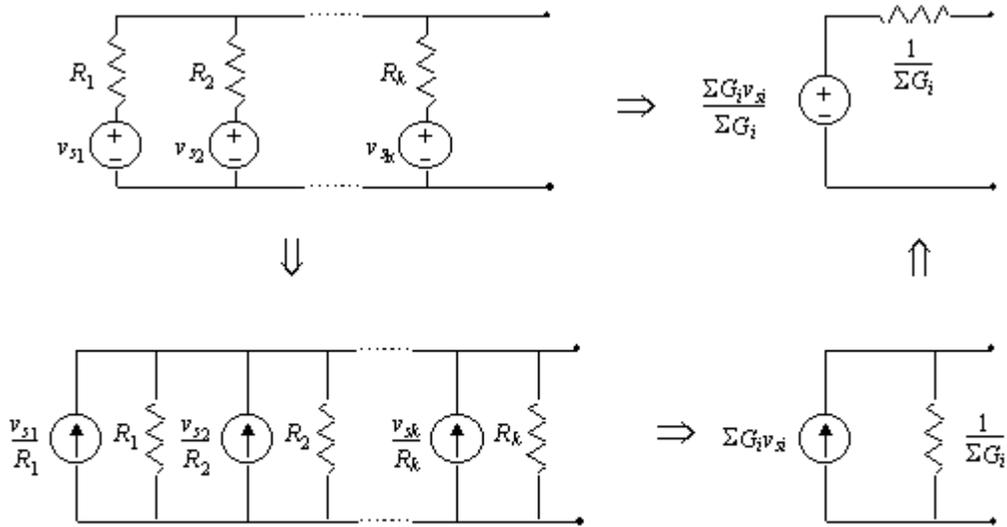


Figura 6.7 Equivalente de Thévenin de um circuito com fontes dependentes.

Teorema de Millman

O teorema de Millman estabelece as regras de associação em paralelo e em série de fontes de tensão e de corrente, respectivamente. Este tópico foi abordado no Capítulo 4, tendo-se então tratado apenas o caso elementar da associação em série e em paralelo de conjuntos de duas fontes.

Considerem-se agora as fontes de tensão associadas em paralelo (Figura 6.13.a). O teorema de Millman estabelece que o conjunto destas fontes pode ser substituído por uma fonte de tensão com resistência interna, cujos parâmetros são dados pelas expressões



(a)

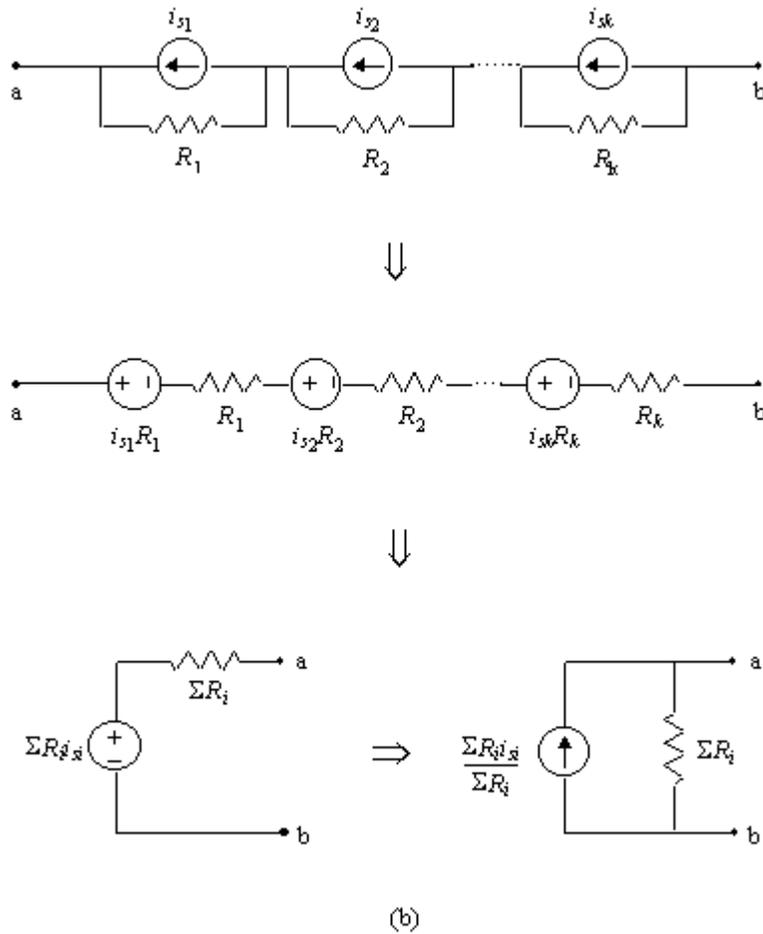


Figura 6.13 Teorema de Millman: associação em paralelo de fontes de tensão (a) e associação em série de fontes de corrente (b).

$$v_s = \frac{\sum_i \frac{v_{s_i}}{R_i}}{\sum_i \frac{1}{R_i}}$$

E

$$R_s = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{R_i}}$$

Este resultado encontra-se demonstrado de forma gráfica na Figura.6.13.a.

A associação em série de fontes de corrente rege-se pelo dual do teorema de Millman, demonstrado na Figura 6.13.b. Neste caso, a amplitude da fonte de corrente e a resistência interna respectiva são dadas pelas expressões

$$i_s = \frac{\sum_i R_i i_x}{\sum_i R_i}$$

e

$$R_s = \sum_i R_i$$